

경량전철 고무차륜 AGT 시스템의 구조물 설계기준

Structural Design Criteria for LRT with Rubber Wheels

이희업* 오지택* 최일윤*
Lee, Hee-Up Oh, Ji-Taek Choi, Il-Yoon

ABSTRACT

The presentation and development of LRT(light rail transit) is one of the effective solution to reduce the heavy traffic problems of urban area. The metropolitan cities and operation companies of urban transit railway are driving to construct the LRT system because of the advantage of construction cost and environmental serviceability. Up to now, the design criteria of structures for LRT is not established. Therefore, this paper presents the structural design criteria for LRT with rubber wheels. The proposed code provides a means of establishing minimum standards for acceptance of design and construction of LRT. In order to improve the proposed design criteria, some details will be tested and evaluated in test line.

1. 서 론

최근 도시철도와 버스 등의 일반 대중교통의 극심한 혼잡과 연계체제의 미흡, 이용률 감소 등의 한계를 극복할 수 있는 새로운 대중교통수단으로 경량전철(LRT, Light Rail Transit) 시스템 도입이 적극 추진되고 있다. 경량전철의 분류는 나라마다 약간씩 다른데, 우리나라에서는 유·무인운전 여부에 따라 유인운전인 경우는 노면전차, 무인운전인 경우에는 AGT(철제차륜방식, 고무차륜방식, LIM방식)로 구분하고 있다. 또한 경량전철은 시스템의 주행형태의 특성 측면과 기구학적 측면으로 다양하게 구분되고 있는데, 차량 및 선로의 적용기술에 따라 철제차륜형 AGT(Automated Guideway Transit), 고무차륜형 AGT, 모노레일(현수식, 과좌식), LIM(Linear Induction Motor, 선형유도모터), HSST(High Speed Surface Transport) 등으로 구분된다. 본 연구에서는 한국형 고무차륜 AGT 시스템 개발사양의 성능과 제원을 고려하여 설계하중, 안내레일 그리고 주행면 등의 구조물 설계기준(안)을 제시하고자 한다. 수립된 설계기준(안)의 일부 항목들은 향후 시험선로에서의 각종 실험결과에 근거하여 개정 및 보완할 계획이며, 아울러 관련분야 업무에 종사하는 여러분들의 폭넓은 고견과 다양한 의견수렴의 기회를 마련하고자 한다.

* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정희원

2. 한국형 고무차륜 AGT 시스템의 개발사양

한국형 고무차륜 AGT 시스템의 개발사양(건설교통부 고시 제 1998-53호)은 표 1과 같으며, 그림 1은 차량의 모형을 나타낸 것이다. 표 2는 개발사양 차량의 고유진동수와 무게중심을 나타낸 것인데, 차량 인터페이스 관련 하중 및 선로선형 설계기준 정립에 이용된다.

표 1. 한국형 고무차륜 AGT 시스템의 개발사양

구분	개발사양	구분	개발사양
차량편성	2, 4, 6량 1편성	가속도	3.5 km/h/s
최급구배	본선 : 58 % 측선 : 70 %	감속도	상시: 3.5 km/h/s 비상시: 4.5 km/h/s
최소곡선반경	본선 40m, 측선 30m	승강장연단높이	1,080 mm (주행면기준)
궤간	1,700 mm	연결면간거리	9,640 mm (1량기준)
최대승객하중	6 tonf/량	차체길이	9,140 mm (1량기준)
만차중량	18 tonf	대차중심간거리	5,300 mm
공차중량	12 tonf	최대차체폭	2,400 mm
성능최고속도	70 km/h 이상	지붕높이	3,500 mm (주행면기준)
최고운행속도	60 km/h	객실상면높이	1,110 mm (주행면기준)

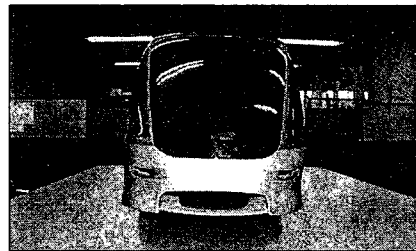
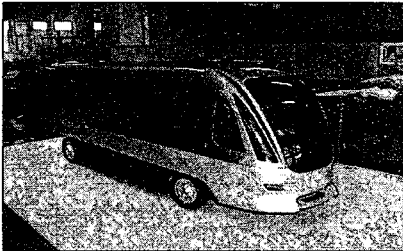


그림 1. 고무차륜 AGT 시스템의 개발사양

표 2. 차체 고유진동수 및 차량 무게중심

고유진동수	공차조건	만차조건	무게중심	Mc1	Mc2
Pitching	1.80 Hz	1.52 Hz	길이방향(X, 전두부+)	-17.3 mm	43.7 mm
Yawing	1.40 Hz	1.10 Hz	좌우방향(Y, 좌측+)	-19.2mm	23.4 mm
Rolling	0.73 Hz	0.46 Hz	상하방향(Z)	공차 : 1,476 mm 만차 : 1,661 mm	

3. 개발차량에 연계된 설계하중

일반적으로 구조물을 설계할 때 고려해야 하는 하중의 종류는 크게 주하중, 부하중, 주하중에 상당하는 특수하중, 부하중에 상당하는 특수하중으로 분류된다. 여기서는 이상과 같은 하중종류 중에서 한국형 경량전철 AGT 시스템 개발사양의 하중특성에 연계된 설계하중만 언급하고자 한다.

3.1 고정하중

고정하중은 구조물의 자중 외에 안내레일, 주행로, 점검용 통로, 케이블, 전차선, 기기실 및 가건물, 대피소 등의 부대시설물의 중량을 고려하는 것으로 한다. 또한 장래 중량의 변화가 예상되는 경우에는 그 변화를 고려해서 정하는 것으로 한다. 그림 2는 단선인 경우의 단면도 예를 나타낸 것이다.

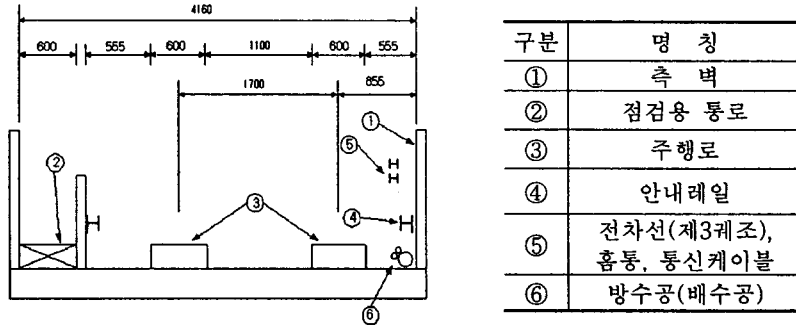


그림 2. 단선의 경우 단면도(예)

3.2 활하중

열차하중은 1편성으로 되는 연행하중으로서 이것을 분단시키지 않고 부재에 가장 불리한 응력이 되도록 재하하는 것으로 한다. 고무차륜 AGT 시스템의 열차하중 1편성은 2, 4, 6량이 기본편성이며, 표 3은 1량기준의 차량하중(W)과 축중(P)을, 그림 3은 열차축중의 배치도를 나타낸 것이다. 열차하중은 만차하중(L1)과 공차하중(L2) 및 정원하중(L3)으로서 통상 활하중은 만차하중(L1)을 기준으로 한다. 표 4는 열차하중의 적용구간과 재하방법을 나타낸 것이며, 표에서 구원시는 차량고장으로 인한 견인을 고려한 경우로서 고장차량편성 L1과 공차 L2를 재하하여 구조물의 설계부재력을 검토한다. 한편 바닥판 설계시에 요구되는 고무차륜에 대한 접지면은 그림 4와 표 5에 나타내었다

표 3. 고무차륜 AGT의 차량하중(W)과 축중(P)

구 분	차량하중(W)	축중(P)
만차하중(L1)	18톤	9.0톤
공차하중(L2)	12톤	6.0톤
정원하중(L3)	15.5톤	7.75톤
승객정원 입석3명/m ³ (1인 60kgf)	57명	

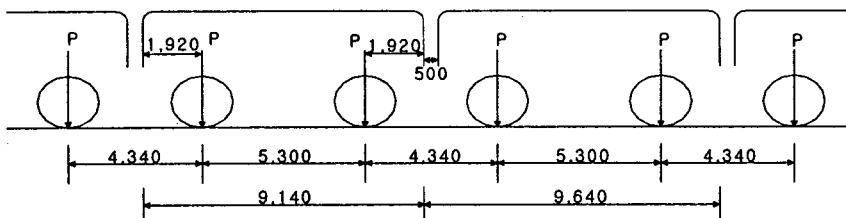


그림 3. 고무차륜 AGT 축하중 모형

표 4. 적용구간과 재하방법

구 분	상 태	단 · 복선 구분	하 중
본 선	상 시	단 선	L1
		복 선	L1 L1
	구 원 시	단 선	L1+L2
		복 선	L1+L2 L1
	피로를 고려할 경우	단 선	L3
		복 선	L3 L3
	지진을 고려할 경우	단 선	L3
		복 선	L3 L3
본선의 인 입 선	상 시	단 선	L2
		복 선	L2 L2
	구 원 시	단 선	L2+L2
		복 선	L2 L2+L2

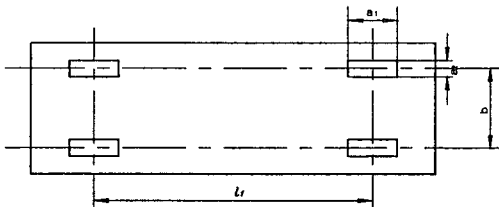


그림 4. 고무차륜 AGT의 접지면

표 5. 접지면의 제원

구분	l_1 (mm)	b (mm)	차륜접지면	
			a_1	a_2
만차	5,300	1,700	380	250
공차			300	250

3.3 충격

주행하는 차량의 재하에 의해 주형에 발생하는 동적인 효과 중에서 연직방향 성분의 작용을 일괄해서 충격이라 하고, 주형의 처짐 또는 응력의 동적인 최대치가 정적인 최대치에 대해 어느 정도 증가하는가의 비율을 충격계수 i 라 한다. 고무차륜 AGT에 관련된 충격계수는 구조물의 하중재하길이 L 을 함수로 하는 식에 의해 계산된 값으로 하며, 표 6에 나타내었다.

표 6. 고무차륜 AGT의 충격계수

설계대상부재	교량 종류	충격계수
바닥판 · 바닥틀	-	$i = \frac{20}{50 + L}$
주형 교량받침	강형 · 합성형	$i = \frac{20}{50 + L}$
	철근콘크리트형	$i = \frac{7}{20 + L}$
	프리스트레스트 콘크리트	$i = \frac{10}{25 + L}$

3.4 원심하중 및 차량 횡하중

곡선구간에서는 다음 식 (1)과 같은 원심하중을 차량중심의 위치(주행면상에서 1.7m)에서 수평으로 열차의 진행방향에 직각으로 작용하는 것으로 한다. 통상 작용방향은 곡선궤도의 법선 방향으로 곡률 중심의 반대 방향으로 작용하나 이것이 교축과 이루는 각은 위치에 따라 변하여 계산이 복잡해지므로 계산의 편의상으로는 원심하중은 교축에 수직하게 작용하는 것으로 보는 것이 좋다. 또 이렇게 보더라도 큰 오차는 일어나지 않는다. 다만, 비대칭으로 궤도가 배치되는 경우에는 교축 방향에도 분력이 작용하므로 주의를 요한다.

$$P_H = \frac{V^2}{127 \cdot R} \cdot W \quad (1)$$

여기서, P_H 는 원심하중(tonf), V 는 열차주행속도(km/hr), R 은 곡선반경(m)인데, 반지름이 일정치 않은 곡선부는 평균을 취하며, W 는 열차하중(tonf) 이다.

차량 횡하중은 차량의 진행중 좌우 흔들림에 따른 진동에 의한 영향을 고려하는 것으로, 주형등을 설계할 때는 1축당 상시 1.0tonf, 비상시 2.0tonf의 하중을 주행면에 수평하게 차량 주행방향에는 직각으로 작용시키는 것으로 한다.

4. 안내레일 및 주행면

4.1 안내레일

고무차륜 AGT시스템의 안내레일 및 이것을 지지하는 부재(축벽)의 설계에 고려하는 하중은 원심하중, 차량 횡하중 및 풍하중으로 한다.

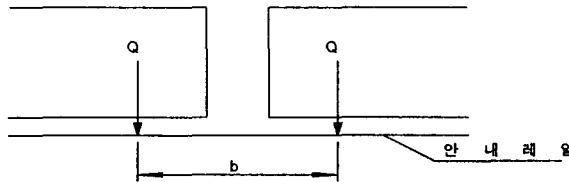


그림 5. 축벽 및 안내레일에 작용하는 횡하중

축벽·안내레일에 적용하는 횡하중 Q 는 상시에 1축중당 1.0tonf, 비상시에 1축중당 2.0tonf를 작용시키며, 재하방법은 그림 5와 같고 b 는 최소안내륜 간격을 나타낸다. 재하위치는 주행면에서 0.3m(안내레일 중심높이)의 높이로 안내면에 수평하게 차량의 진행방향에 직각으로 작용시킨다.

안내레일 및 이것을 직접 지지하는 부재의 설계계산에 사용하는 허용응력은 상부구조 설계시의 허용응력에 표 7의 계수값을 곱해서 얻어진 값으로 한다. 단, 이 경우에는 열차재하의 경우도 고려하는 것으로 한다.

또한 한국형 경량전철 고무차륜에 대한 안내레일의 경우, 차량의 안전성 및 주행성능을 확보하기 위해서 표 8과 같은 시공 및 관리기준이 요구된다.

표 7. 하중조합 및 할증계수

P _H + Q(상시)		1.00
Q(상시) + W(100kgf/m ²)		1.25
Q(비상시)	콘크리트	1.5
	강구조물	1.6[1.7]

[]는 SM570의 경우

표 8. 안내레일의 허용기준

항 목	상 세 사 항	허 용 치
안내면간 거리	좌우 안내면(2,900mm)	2,900mm +10mm -0mm
안내면 불규칙도	진행방향 3m 구간에서	3mm이하/3,000mm
단 차	이음매부 단차	0.5mm 이하

4.2 주행면

경량전철 고무차륜 주행로를 운영하는데 있어서 차량의 안전성 및 주행성능을 확보하기 위해서 요구되는 시공 및 관리기준은 다음 표 9, 10과 같다.

표 9. 주행로면의 허용기준

항 목	상 세 사 항	허 용 치
크로스레벨	좌우 주행면 높이 차이	± 4mm
평면성 불규칙	진행방향에서 크로스레벨의 변화량	3mm 이하 / 3,000mm
상·하 불규칙	주행로면의 진행·상하방향 불규칙도	3mm 이하 / 3,000mm
평탄성	상하불규칙의 표준편차	$\sigma = 1.2\text{mm}$ 이하
주행로면 폭	주행로면 폭 및 관리공차	600mm, -20mm (주행로면 내면간 거리:1,100mm, 주행로면 외면간 거리:2,300mm)
마찰저항력	wet시 SR(Skid Resistance)치	45~65 bpn

표 10. 주행로 연결부의 허용기준

항 목	상 세 사 항	허 용 치
단차	연결부의 단차	0.5mm 이하
불규칙도	연결부 전후의 불규칙	1mm 이하 / 1,000mm

5. 결론

본 연구에서는 고무차륜 AGT 시스템의 개발사양, 차량 인터페이스관련 하중 및 선로선형 설계 기준 정립에 이용될 차체의 고유진동수와 차량의 무게중심을 나타내었다. 개발사양에 연계된 설계 하중, 즉 고정하중, 활하중, 충격, 원심하중 및 차량 횡하중을 정립하여 제시하였다. 또한 바닥판 설계시 요구되는 차륜의 접지면, 안내레일 및 주행면 설계기준 등이 제안되었다. 수립된 설계기준(안)은 경량전철 토목구조물 설계에 유용하게 적용되리라 판단되며, 일부 항목들은 향후 시험선로에서의 각종 시험결과에 근거하여 개정 및 보완될 것이다.

참고문헌

1. 철도청(1999), 철도설계기준(철도교편)
2. 일본교통계획협회(1985), 신교통시스템 토목구조물 설계지침(안)
3. 이희업 외(2002), 경량전철 토목구조물 설계기준에 관한 연구, 한국철도기술연구원